Что происходит с телом человека после смерти

Мо Костанди
BBC Future

5 июня 2015

Подпишитесь на нашу рассылку "Контекст": она поможет вам разобраться в событиях.

GETTY

Разложение человеческого тела после смерти - очень любопытная тема, если набраться храбрости и внимательнее взглянуть на детали, считает корреспондент BBC Future.

"Чтобы все это разогнуть, придется потрудиться, - говорит прозектор Холли Уильямс, поднимая руку Джона и аккуратно сгибая на ней пальцы, локоть и кисть. - Как правило, чем свежее труп, тем проще мне с ним работать".

Уильямс разговаривает негромко и держит себя позитивно и легко, вопреки природе своей профессии. Она практически выросла в семейном похоронном бюро на севере американского штата Техас, где теперь и работает. Мертвые тела она почти ежедневно видела с самого детства. Сейчас ей 28 лет и, по ее оценке, она уже успела поработать примерно с тысячей трупов.

Она занимается тем, что забирает тела недавно умерших в метрополии Даллас - Форт-Уэрт и готовит их к погребению.

"Большинство людей, за которыми мы выезжаем, умирают в домах престарелых, - рассказывает Уильямс. - Но иногда встречаются и жертвы автомобильных аварий или перестрелок. Бывает и так, что нас вызывают забрать тело человека, который умер в одиночестве, пролежал несколько дней или недель и уже начал разлагаться. В таких случаях моя работа сильно осложняется".

(Похожие статьи из раздела "Журнал")

К тому времени, когда Джона привезли в похоронное бюро, он был мертв уже около четырех часов. При жизни он был относительно здоров. Он всю жизнь работал на нефтяных месторождениях Техаса и поэтому был физически активен и привыкал к нелегкой работе. Он бросил курить несколько десятилетий назад и употреблял алкоголь умеренно. Но в одно холодное январское утро с ним дома случился острый сердечный приступ (вызванный какими-то другими, неизвестными причинами), он повалился на пол и умер почти сразу. Ему было 57 лет.

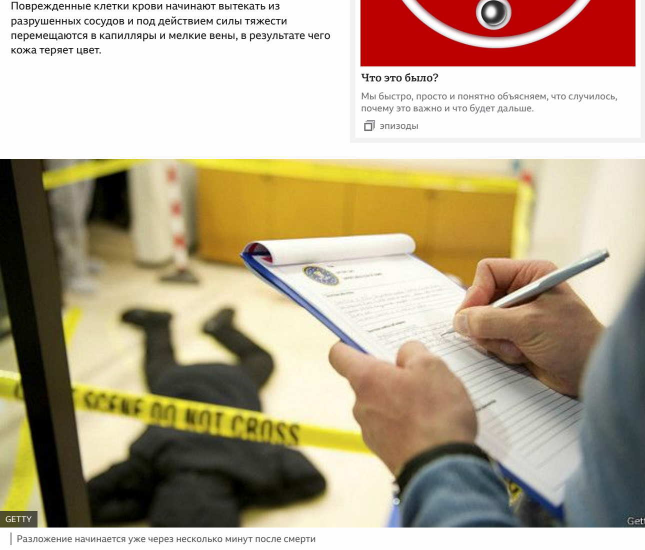
Сейчас Джон лежит на металлическом столе Уильямс, его тело завернуто в белую простыню, холодное и твердое. Его кожа - пурпурно-серого оттенка, что говорит о том, что ранние стадии разложения уже начались.

Самопоглощение

Мертвое тело на самом деле далеко не так мертво, как кажется - оно кишит жизнью. Все больше ученых склоняются к тому, чтобы рассматривать гниющий труп как краеугольный камень огромной и сложной экосистемы, возникающей вскоре после смерти, процветающей и эволюционирующей в процессе разложения.

Разложение начинается через несколько минут после смерти - запускается процесс под названием автолиз, или самопоглощение. Вскоре после того, как перестает биться сердце, у клеток наступает кислородное голодание, и по мере накопления токсических побочных продуктов химических реакций в клетках повышается кислотность. Ферменты начинают поглощать клеточные мембраны и вытекают наружу, когда клетки разрушаются. Обычно этот процесс начинается в богатой ферментами печени и в головном мозге, который содержит много воды. Постепенно все остальные ткани и органы тоже начинают распадаться схожим образом. Поврежденные клетки крови начинают вытекать из разрушенных сосудов и под действием силы тяжести перемещаются в капилляры и мелкие вены, в результате чего кожа теряет цвет.

Подкаст
Что это было?
Мы быстро, просто и понятно объясняем, что случилось, почему это важно и что будет дальше.
эпизоды


GETTY
Разложение начинается уже через несколько минут после смерти

Температура тела начинает снижаться и в итоге уравнивается с температурой окружающей среды. Потом наступает трупное окоченение - оно начинается с мышц век, челюсти и шеи и постепенно доходит до туловища и затем до конечностей. При жизни мускульные клетки сокращаются и расслабляются в результате взаимодействия двух филаментных белков, актина и миозина, которые двигаются друг по другу. После смерти клетки теряют свои источники энергии, и филаментные белки застывают в одном положении. В результате этого коченеют мышцы и блокируются суставы.

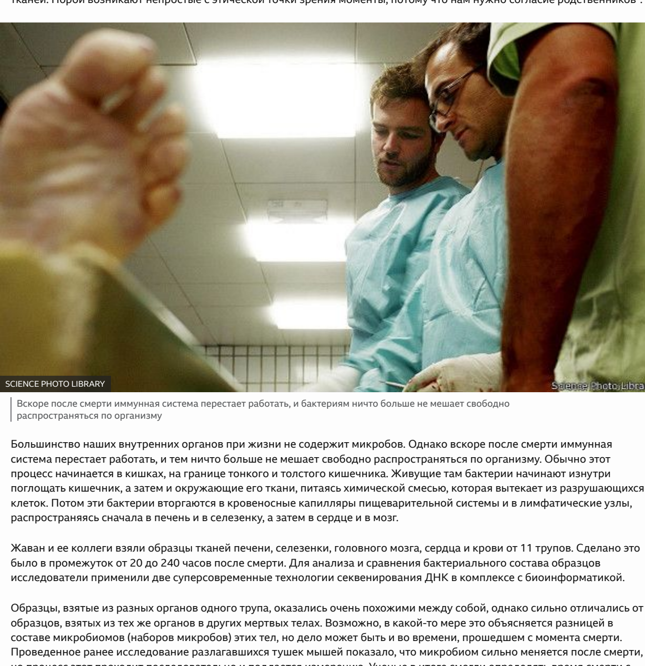
На этих ранних посмертных стадиях экосистема трупа состоит в основном из бактерий, обитающих в и живом человеческом организме. В наших телах живет гигантское количество бактерий, разные закоулки человеческого организма служат пристанищем специализированных колоний микробов. Самые многочисленные из этих колоний обитают в кишечнике: там собраны триллионы бактерий - сотни, если не тысячи разных видов.

Микробиом кишечника - одна из самых популярных областей для исследования в биологии, с ним связано общее состояние здоровья человека и огромный набор различных болезней и состояний, от аутизма и депрессии до беспокоящего кишечного синдрома и ожирения. Но мы по-прежнему довольно мало знаем, что делают эти микроскопические пассажиры при нашей жизни. Еще меньше нам известно о том, что происходит с ними после нашей смерти.

Иммунный коллапс

В августе 2014 года эксперт-криминалист Гюльназ Жаван с коллегами из Алабамского университета в американском городе Монтгомери опубликовали первое в истории исследование танатомикробиома - бактерий, живущих в теле человека после смерти. Такое название ученые произвели от греческого слова "танатос", смерть.

"Многие из этих образцов попали к нам в материалах уголовных расследований, - говорит Жаван. - Когда кто-то умирает в результате самоубийства, убийства, передозировки наркотиков или автомобильной аварии, я беру образцы их тканей. Порой возникают непростые с этической точки зрения моменты, потому что нам нужно согласие родственников".


SCIENCE PHOTO LIBRARY
Вскоре после смерти иммунная система перестает работать, и бактериям ничто больше не мешает свободно распространяться по организму

Большинство наших внутренних органов при жизни не содержит микробов. Однако вскоре после смерти иммунная система перестает работать, и тем ничто больше не мешает свободно распространяться по организму. Обычно этот процесс начинается в кишечнике, на границе тонкого и толстого кишечника. Живущие там бактерии начинают изнутри поглощать кишечник, а затем и окружающие его ткани, питаясь химической смесью, которая вытекает из разрушающихся клеток. Потом эти бактерии вторгаются в кровеносные капилляры пищеварительной системы и в лимфатические узлы, распространяясь сначала в печень и в селезенку, а затем в сердце и в мозг.

Жаван и ее коллеги взяли образцы тканей печени, селезенки, головного мозга, сердца и крови от 11 трупов. Сделано это было в промежутке от 20 до 240 часов после смерти. Для анализа и сравнения бактериального состава образцов исследователи применили две суперсовременные технологии секвенирования ДНК в комбинации с биоинформатикой.

Образцы, взятые из разных органов одного трупа, оказались очень похожими между собой, однако сильно отличались от образцов, взятых из тех же органов в других мертвых телах. Возможно, в какой-то мере это объясняется разницей в составе микробиомов (наборов микробов) этих тел, но это может быть и во времени, прошедшем с момента смерти. Проведенное ранее исследование разлагающихся тушек мышей показало, что микробиом сильно меняется после смерти, но процесс этот проходит последовательно и поддается измерению. Ученые в итоге смогли определять время смерти с точностью до трех дней в пределах почти двухмесячного периода.

Неаппетитный эксперимент

Результаты проведенного Жаван исследования говорят о том, что аналогичные "микробные часы", похоже, работают и в человеческом организме. Ученые выяснили, что до печени бактерии добираются примерно через 20 часов после смерти, а на то чтобы попасть во все органы, из которых брались образцы тканей, у них уходит по меньшей мере 58 часов. Судя по всему, в мертвом теле бактерии распространяются систематически, и отсчет времени, через которое они попадают в тот или иной орган, может быть очередным новым способом установить точный момент смерти.

SCIENCE PHOTO LIBRARY
Анаэробные бактерии превращают молекулы гемоглобина в сульфгемоглобин

"После смерти бактериальный состав меняется, - отмечает Жаван. - В последнюю очередь они добираются до сердца, мозга и репродуктивных органов". В 2014 году группа ученых под ее руководством получила грант на 200 тысяч долларов от Национального научного фонда США на проведение дальнейших исследований. "Мы прибегнем к геному секвенирования нового поколения и к методам биоинформатики, чтобы выяснить, какой орган позволяет наиболее точно устанавливать время смерти - пока мы этого не знаем", - говорит исследовательница.

Однако уже понятно, что разные наборы бактерий соответствуют разным стадиям разложения.

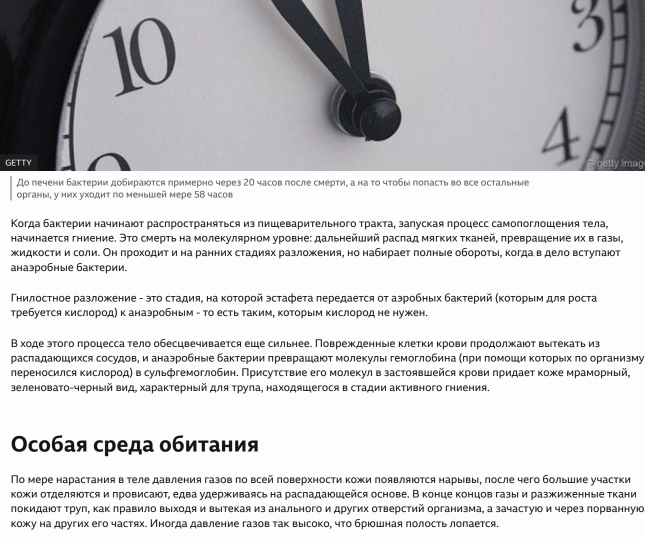
Но как же выглядит процесс осуществления такого исследования?

Под городом Хантсвиллом в американском штате Техас в сосновом лесу лежат полдюжины трупов на разных стадиях разложения. Два самых свежих с разведенными в стороны конечностями выложены ближе к центру небольшого огороженного вольера. Большая часть их обвисшей, серо-голубой кожи еще сохранилась, ребра и концы тазовых костей выпирают из медленно гниющей плоти. В нескольких метрах от них лежит еще один труп, уже по сути превратившийся в скелет - его черная, отвердевшая кожа облегает кости, будто он с ног до самой макушки одет в блестящий латексный костюм. Еще дальше, за останками, разбросанными стервятниками, лежит третье тело, защищенное клеткой из деревянных планок и проволоки. Оно приближается к концу своего посмертного цикла и уже частично мумифицировалось. Там, где когда-то был его живот, растет несколько крупных коричневых грибов.

Естественный распад

Для большинства людей зрелище гниющего трупа по меньшей мере неприятно, а чаще всего - отталкивающе и пугающе, как ночной кошмар. Но для сотрудников Научной лаборатории прикладной криминалистики юго-восточного Техаса это обычные рабочие будни. Это учреждение открылось в 2009 году, оно расположено на 100 гектарах леса, которым владеет Университет Сэма Хьюстона. В этом лесу под исследования выделен участок примерно в три с половиной гектара. Он огорожен зеленым металлическим забором трехметровой высоты с идущей поверху колючей проволокой, а внутри подразделен на несколько участков поменьше.

В конце 2011 года сотрудники университета Сибил Бьючели и Аарон Линн с коллегами оставили там два свежих кадавра - чтобы те разлагались в естественных условиях.


GETTY
До печени бактерии добираются примерно через 20 часов после смерти, а на то чтобы попасть во все остальные органы, у них уходит по меньшей мере 58 часов

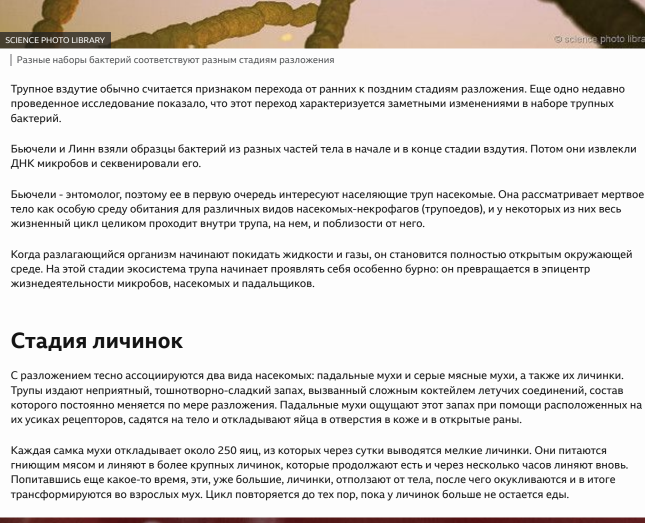
Когда бактерии начинают распространяться из пищеварительного тракта, запуская процесс самопоглощения тела, начинается гниение. Это смерть на молекулярном уровне: дальнейший распад мягких тканей, превращение их в газы, жидкости и соли. Он проходит и на ранних стадиях разложения, но набирает полные обороты, когда в дело вступают анаэробные бактерии.

Гнилостное разложение - это стадия, на которой эстафета передается от аэробных бактерий (которым для роста требуется кислород) к анаэробным - то есть таким, которым кислород не нужен.

В ходе этого процесса тело обесцвечивается еще сильнее. Поврежденные клетки крови продолжают вытекать из расслаивающихся сосудов, и анаэробные бактерии превращают молекулы гемоглобина (при помощи которых по организму переносился кислород) в сульфгемоглобин. Присутствие его молекул в застоявшейся крови придает коже мраморный, зеленовато-черный вид, характерный для трупа, находящегося в стадии активного гниения.

Особая среда обитания

По мере нарастания в теле давления газов по всей поверхности кожи появляются нарывы, после чего большие участки кожи отделяются и провисают, едва удерживаясь на распадающейся основе. В конце концов газы и разжиженные ткани проходят наружу, как правило вытекая из анального и других отверстий организма, а зачастую и через порванную кожу на других его частях. Иногда давление так высоко, что брюшная полость лопается.


SCIENCE PHOTO LIBRARY
Разные наборы бактерий соответствуют разным стадиям разложения

Трупное вздутие обычно считается признаком перехода от ранних к поздним стадиям разложения. Еще одно недавно проведенное исследование показало, что этот переход характеризуется заметным изменениями в наборе трупных бактерий.

Бьючели и Линн взяли образцы бактерий из разных частей тела в начале и в конце стадии вздутия. Потом они извлекли ДНК микробов и секвенировали ее.

Бьючели - энтомолог, поэтому ее в первую очередь интересуют насекомые, населяющие труп. Она рассматривает мертвое тело как особую среду обитания для различных видов насекомых-некрофагов (трупоедов), и некоторых из них весь жизненный цикл целиком проходит внутри трупа, на нем, и поблизости от него.

Когда разлагающийся организм начинает покидать жидкости и газы, он становится полностью открытым окружающей среде. На этой стадии экосистема трупа начинает проявлять себя особенно бурно: он превращается в эпицентр жизнедеятельности микробов, насекомых и падальщиков.

Стадия личинок

С разложением тесно ассоциируются два вида насекомых: падальные мухи и серые мясные мухи, а также их личинки. Трупы издают неприятный, тошнотворно-сладкий запах, вызванный сложным коктейлем летучих соединений, состав которого постоянно меняется по мере разложения. Падальные мухи ощущают этот запах при помощи расположенных на их усиках рецепторов, садятся на тело и откладывают яйца в отверстиях и в открытых ранах.

Каждая самка мухи откладывает около 250 яиц, из которых через сутки вылупляются мелкие личинки. Они питаются гниющим мясом и линяют в более крупных личинок, которые продолжают есть и через несколько часов линяют вновь. Попитавшись еще какое-то время, эти, уже большие, личинки, отползают от тела, после чего окукливаются и в итоге трансформируются во взрослых мух. Цикл повторяется до тех пор, пока у личинок больше не останется еды.

SCIENCE PHOTO LIBRARY
Каждая самка мухи откладывает около 250 яиц

В благоприятных условиях активно разлагающийся организм служит пристанищем для большого количества мушиных личинок третьей стадии. Масса из тел производит много тепла, в результате чего внутренняя температура поднимается более чем на 10 градусов. Подобно стаям пингвинов в районе Южного полюса, личинки в этой массе находятся в постоянном движении. Но эти личинки прибегают к этому методу, чтобы сохранять прохладу, а не согреться.

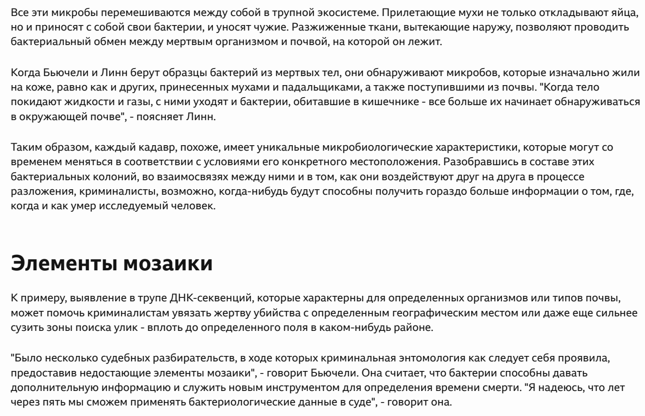
"Это палка о двух концах, - поясняет Бьючели, сидя в своем университетском кабинете, в окружении больших игрушечных насекомых и симпатичных кукол-монстров. - Если они находятся на периферии этой массы, то рискуют стать пищей для птиц, а если остаются во время в центре - то могут просто свариться. Поэтому они постоянно перемещаются от центра к краям и обратно".

Мухи привлекают хищников - жуков, клещей, муравьев, ос и пауков, которые питаются мушиными яйцами и личинками. Стервятники и прочие падальщики, равно как и другие крупные животные-мясоеды, тоже могут прийти полакомиться.

Уникальный состав

Однако в отсутствие падальщиков поглощением мягких тканей занимаются мушиные личинки. В 1767 году шведский естествоиспытатель Карл Линней (разработавший единую систему классификации растительного и животного мира) отметил, что "три мухи способны поглотить труп лошади с той же быстротой, что и лев". Личинки третьей стадии массово уползают от трупа, зачастую по одним и тем же траекториям. Их активность настолько высока, что по окончании миграции можно наблюдать как глубокие борозды на поверхности почвы, расходящиеся в разные стороны от трупа.

Каждый вид живых существ, посещающих мертвое тело, обладает собственным уникальным набором пищеварительных микробов, а в разных почвах обитают разные колонии бактерий - их точный состав, судя по всему, определяется такими факторами, как температура, влажность, тип и структура почвы.


SCIENCE PHOTO LIBRARY
Мушиные личинки занимаются поглощением мягких тканей

Все эти микробы перемешиваются между собой в трупной экосистеме. Прилетающие мухи не только откладывают яйца, но и приносят с собой свои бактерии, и уносят чужие. Разжиженные ткани, вытекающие наружу, позволяют проводить бактериальный обмен между мертвым организмом и почвой, на которой он лежит.

Когда Бьючели и Линн берут образцы бактерий из мертвых тел, они обнаруживают микробов, которые изначально жили на коже, равно как и других, принесенных мухами и падальщиками, а также поступившими из почвы. "Когда тело покидают жидкости и газы, с ними уходят и бактерии, обитавшие в кишечнике - все больше их начинает обнаруживаться в окружающей почве", - поясняет Линн.

Таким образом, каждый кадавр, похоже, имеет уникальные микробиологические характеристики, которые могут со временем меняться в соответствии с условиями его конкретного местоположения. Разобравшись в составе этих бактериальных колоний, во взаимосвязях между ними и в том, как они воздействуют друг на друга в процессе разложения, криминалисты, возможно, когда-нибудь будут способны получить гораздо больше информации о том, где, когда и как умер исследуемый человек.

Элементы мозаики

К примеру, выявление в трупе ДНК-секвенций, которые характерны для определенных организмов или типов почвы, может помочь криминалистам увязать жертву убийства с определенным географическим местом или даже еще сильнее сузить зоны поиска улик - вплоть до определенного поля в каком-нибудь районе.

"Было несколько судебных разбирательств, в ходе которых криминальная энтомология как следует себя проявила, предоставив недостающие элементы мозаики", - говорит Бьючели. Она считает, что бактерии способны давать дополнительную информацию и служить новым инструментом для определения времени смерти. "Я надеюсь, что лет через пять мы сможем применять бактериологические данные в суде", - говорит она.

SCIENCE PHOTO LIBRARY
Падальные мухи тесно ассоциируются с разложением

С этой целью ученые тщательно каталогизируют виды бактерий, обитающих на теле человека и вне его, и изучают, как состав микробиома варьируется от человека к человеку. "Было бы здорово получить набор данных от момента рождения до самой смерти, - говорит Бьючели. - Я бы хотела познакомиться с донором, который позволил бы мне взять бактериальные образцы при жизни, после смерти и в период разложения".

"Мы изучаем жидкость, которая вытекает из разлагающихся тел", - рассказывает Дэниэл Уэскотт, директор Центра криминальной антропологии при Техасском университете в Сан-Маркосе.

Область интересов Уэскотта - изучение структуры черепа. С помощью компьютерной томографии он анализирует микроскопические структуры костей трупов. Он работает вместе с энтомологами и микробиологами, в том числе с Жаван (которая, в свою очередь, исследует образцы почвы, взятые с экспериментального участка в Сан-Маркосе, где лежат трупы), с компьютерными инженерами и с оператором, управляющим беспилотником - с его помощью делаются снимки участка с воздуха.

"Я прочитал статью о беспилотниках, использующихся для изучения сельскохозяйственных земель - с тем, чтобы понять, какие из них наиболее плодородны. Их камеры работают в ближнем к инфракрасному диапазоне, в котором видно, что богатые органическими соединениями почвы имеют более темный цвет, чем другие. Я подумал, что раз уж такая технология существует, то возможно, она может пригодиться и нам - чтобы отыскивать эти небольшие коричневые пятна", - рассказывает он.

Богатая почва

"Коричневые пятна", о которых говорит ученый - это участки, где разлагались трупы. Гниющее тело существенно меняет химический состав почвы, на которой оно лежит, и эти изменения могут быть заметны в течение нескольких последующих лет. Вытекание разжиженных тканей из мертвых останков обогащает почву питательными веществами, а миграция личинок передает значительную часть энергии тела окружающей его среде.

Со временем в результате всего этого процесса возникает "остров разложения трупа" - зона с высокой концентрацией богатой органическими веществами почвы. Помимо выделяющихся в экосистему из кадавра питательных соединений, здесь присутствуют также мертвые насекомые, навоз падальщиков и так далее.

GETTY
Камеры беспилотников работают в ближнем к инфракрасному диапазоне, что, как считают ученые, поможет находить места, где лежали трупы

По некоторым оценкам, организм человека на 50-75% состоит из воды, и каждый килограмм сухой массы тела при разложении выделяет в окружающую среду 32 грамма азота, 10 граммов фосфора, четыре грамма калия и один грамм магния. Поначалу это убивает находящуюся снизу и вокруг растительность - возможно, за счет токсичности азота или за счет содержащихся в теле антибиотиков, которые выделяют в почву личинки насекомых, поедающие труп. Однако в конечном итоге разложение благотворно сказывается на местной экосистеме.

Биомасса микробов на острове разложения трупа существенно выше, чем на окружающей его территории. Круглые черви, привлекаемые выделяющимися питательными веществами, начинают размножаться на этом участке, и его флора тоже становится богаче. Дальнейшие исследования того, как именно гниющие кадавры меняют окружающую их экологию, возможно, помогут более эффективно обнаруживать жертв убийств, чьи тела были зарыты в неглубоких могилах.

Еще один возможный ключ к установлению точной даты смерти может дать анализ почвы из могилы. Проведенное в 2008 году исследование биохимических изменений, происходящих на острове разложения трупа, показало, что концентрация фосфолипидов в вытекающей из тела жидкости достигает своего максимума примерно через 40 дней после смерти, а азота и извлекаемого фосфора - через 72 и 100 дней соответственно. По мере более детального изучения этих процессов, возможно, мы сможем в будущем при помощи анализа биохимии почвы из захоронения точно устанавливать, когда тела было тайно похоронено в скрытую могилу.

Прочитать оригинал этой статьи на английском языке можно на сайте BBC Future.

Читайте также

Счастье по-бутански: чаще думать о смерти
30 апреля 2015

"Живые мертвецы" помогут раскрыть преступление
1 апреля 2015

Как вернуться к жизни после смерти
18 марта 2015

Семь способов ощутить себя умершим
16 марта 2015

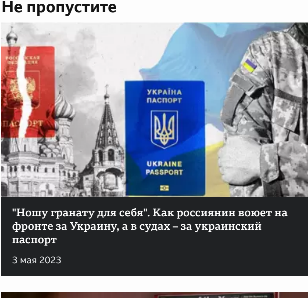
Главное

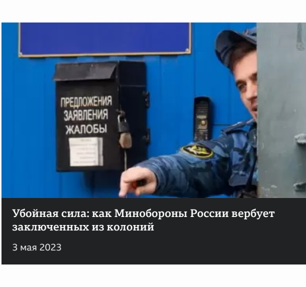
LIVE Коронация короля Карла III: прямая трансляция Би-би-си

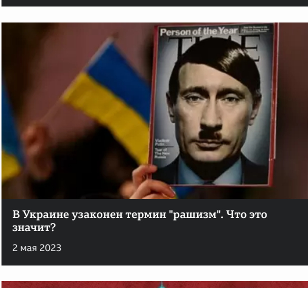
Смотрите спецэфир о коронации на YouTube
2 часа назад

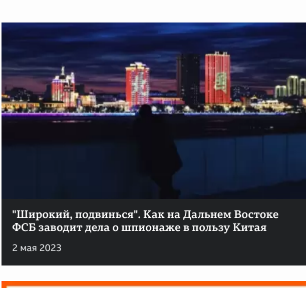
В России взорвали автомобиль Захара Прилепина. Идеолог и участник войны с Украиной ранен
11 минут назад

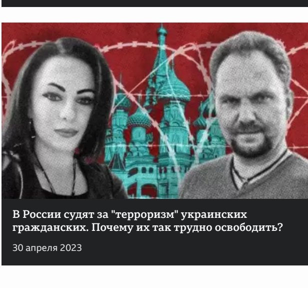
Не пропустите


"Ношу гранату для себя". Как россияне воюют на фронте за Украину, а в судах - за украинский паспорт
3 мая 2023


Убойная сила: как Минобороны России вербует заключенных из колоний
3 мая 2023


В Украине узаконен термин "рашизм". Что это значит?
2 мая 2023


"Широкий, подвинься". Как на Дальнем Востоке ФСБ заводит дела о шпионаже в пользу Китая
2 мая 2023


В России судят за "терроризм" украинских гражданских. Почему их так трудно освободить?
30 апреля 2023

Подпишитесь на нашу рассылку "Контекст"!
18 июля 2022

Самое популярное

1 "Шойгу! Герасимов! Где боеприпасы? Посмотрите на них, суки". Пригожин пообещал, что ЧВК "Вагнер" покинет Бахмут

2 Новая китайская открытость. Почему Си Цзиньпин сменил курс
Последнее обновление: 22 января 2023

3 Чудесные времена года. Самые живописные места нашей планеты
Последнее обновление: 1 января 2022

4 Коронация короля Карла III: что будет происходить в этот день

5 Космос: пространство, время, гравитация, инопланетяне
Последнее обновление: 2 сентября 2022

6 "Ежейте, муж вас догонит". Тысячи украинцев почти год находятся в плену без связи с миром. Как это возможно?
Последнее обновление: 20 января 2023

7 "Пацан в гробу вернуться успел". Фигурант дела "Сети" Юлиан Бояршинов о колонии, отношении зэков к "Вагнеру"

8 В России вспышка заболеваемости корью. Так бывает каждые несколько лет

9 Из Киева до "Лефортово" за пять месяцев. Как крымчанку посадили по делу о шпионаже

10 Авиадвигатели из Украины для Ирана: при чем здесь Москва?